

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

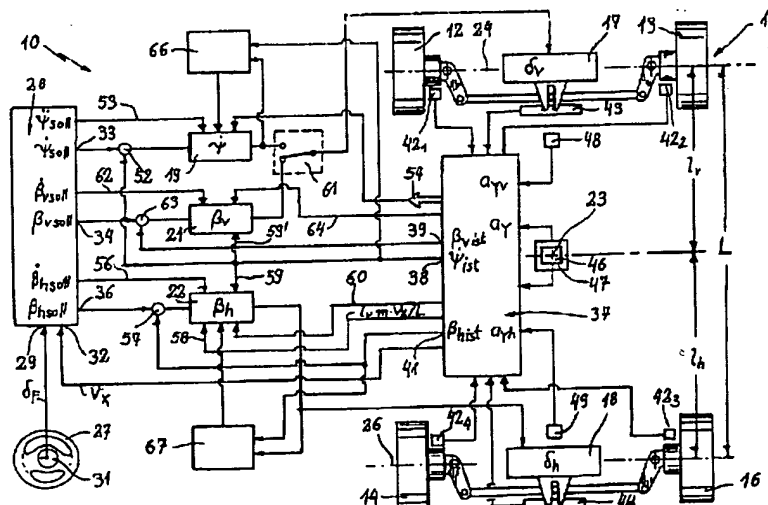
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/14137 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: B62D 7/15, 6/00 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SUISSA, Avshalom
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/09411 [IL/DE]; Simmonzheimer Strasse 15, 75382 Althengstett (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 15. August 2001 (15.08.2001) (74) Anwälte: WEISS, Klaus usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, FTP - C106, 70546 Stuttgart (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
(30) Angaben zur Priorität: 100 39 782.4 16. August 2000 (16.08.2000) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, 70567 Stuttgart (DE).
Veröffentlicht: mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING YAW AND TRANSVERSAL DYNAMICS IN A ROAD VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DER GIER- UND QUERDYNAMIK BEI EINEM STRASSENFAHRZEUG



$$S_{\text{roll}} = \frac{l_F \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot [\dot{\psi} - \dot{\beta}_{\text{roll}} + k_1 \cdot (\beta_h - \beta_{\text{roll}})] \quad (1)$$

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling yaw and transversal dynamics in a road vehicle with electrically controlled four-wheel steering, wherein the steering angle (δ_F) of the front axle and the steering angle (δ_R) of the rear axle are adjusted by means of decoupled control circuits. A setpoint value (S_{roll}) for the side force (S_y) build-up on the front axle is determined in the control circuit associated therewith and the value of the slip angle linked to said setpoint value (S_{roll}) is determined as a setpoint value (α_{roll}). A setpoint value (S_{roll})

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY

WO 02/14137 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

is determined for the side force (S_h) build-up on the rear axle in the control circuit associated with the rear axle as part of a control process according to the following controller rule: $S_{hsoll} = \langle u \rangle \cdot v_m \cdot v_x \cdot [\psi - \beta_{hsoll} + k_1(\beta_h - \beta_{hsoll})]$ L and the value of the slip angle linked to said setpoint value (S_{hsoll}) is determined as a setpoint value (α_{hsoll}). The setpoint values (α_{vsoll}) and (α_{hsoll}) are used to determine the setpoint values (δ_{vsoll}) and (δ_{hsoll}) of the steering angles, taking into account an estimated value of the sideslip angle β in the centre of gravity of the vehicle and the position of the centre of gravity, in addition to measured values and/or estimated values of the yaw velocity (ψ) and the longitudinal velocity (v_x) of the vehicle.

(57) Zusammenfassung: Zum Zweck einer Regelung der Gier- und Querdynamik bei einem Straßenfahrzeug mit elektrisch gesteuerter Vierradlenkung, bei der die Einstellung des Vorderachs-Lenkwinkels δ_v und des Hinterachs-Lenkwinkels δ_h mittels voneinander entkoppelter Regelkreise erfolgt, wird in dem der Vorderachse zugeordneten Regelkreis ein Sollwert S_{vsoll} für die an der Vorderachse aufzubauende Seitenkraft S_v ermittelt und der mit dem Sollwert S_{vsoll} verknüpfte Wert des Schräglaufwinkels als Sollwert α_{vsoll} ermittelt. In dem der Hinterachse zugeordneten Regelkreis wird in einem Regelungsprozeß gemäß einem regler-Gesetz der Form (I) ein Sollwert S_{hsoll} für die an der Hinterachse aufzubauende Seitenkraft S_h ermittelt und der mit dem Sollwert S_{hsoll} verknüpfte Wert des Schräglaufwinkels als Sollwert α_{hsoll} ermittelt. Diese Sollwerte α_{vsoll} und α_{hsoll} werden unter Berücksichtigung eines Schätzwertes des Schwimmwinkels β im Schwerpunkt des Fahrzeuges, der Schwerpunktlage sowie Meß- oder Schätzwerten der Giergeschwindigkeit ψ und der Längsgeschwindigkeit V_x des Fahrzeuges zur Ermittlung der Sollwerte δ_{vsoll} und δ_{hsoll} der Lenkwinkel genutzt.

Verfahren zur Regelung der Gier- und Querdynamik bei einem
Straßenfahrzeug

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Gier- und Querdynamik bei einem Straßenfahrzeug mit je einer Lenkeinrichtung für die Vorderachse und für die Hinterachse und mit diesen individuell zugeordneten, elektrisch ansteuerbaren δ_v - und δ_h -Lenkwinkel-Stellgliedern, die über je einen Regler ansteuerbar sind, die aus Soll-Istwertvergleichen für das Gier- und das querdynamische Verhalten des Fahrzeuges charakteristischer Größen (z.B. der Giergeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ und eines Schwimmwinkels β) für die Nachführung der Regelgrößen erforderliche Ansteuersignale für die Lenkwinkel-Stellglieder generieren, und mit den weiteren, im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 genannten, gattungsbestimmenden Merkmalen.

Bei Fahrzeugen, die mit unabhängig voneinander ansteuerbaren Lenkwinkelstellgliedern für die Vorderachs-Lenkung und die Hinterachs-Lenkung ausgerüstet sind, können im Prinzip "extreme" Fahrzeugbewegungen erreicht werden, die bei einem normalen Fahrzeug, das nur über die Vorderräder lenkbar ist, nicht auftreten können. Beispielsweise ist ein Schwimmen des Fahrzeuges, d.h. eine Bewegung desselben schräg zur Fahrzeuglängsachse möglich, ohne daß das Fahrzeug giert (z.B. dadurch, daß die Vorderachs-Lenkung und die Hinterachs-Lenkung auf gleiche Lenkwinkel bezüglich der Fahrzeuglängsachse eingestellt werden). Es ist auch möglich, ein Gieren, d.h. eine Drehbewegung des Fahrzeuges um seine Hochachse zu erreichen, ohne daß diese eine Schwimmbewegung ausführt.

Die Nutzung solcher nur mit einer zwei-achsigen Lenkung erreichbaren Fahrzeugbewegungen sollte aus Sicherheitsgründen solchen Fahrsituationen vorbehalten bleiben, in denen der Fahrer sich bewußt auf ein ungewohntes Fahrzeugverhalten einstellt, z.B. beim Rangieren auf engstem Raum, nicht jedoch im "normalen", den statistisch überwiegenden Fahrsituationen entsprechenden Betrieb des Fahrzeuges, für den der Fahrer eine dem Fahrerwunsch entsprechende Reaktion des Fahrzeuges "gewohnheitsmäßig" erwartet.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das bei Betätigung eines zur Einstellung eines Fahrerwunsches vorgesehenen Lenkorgans, z.B. eines Lenkrades oder Joysticks, zu einer Fahrzeugreaktion führt, die derjenigen eines Fahrzeuges, das nur über eine Vorderachs-Lenkung verfügt, weitgehend analog ist, gleichwohl jedoch eine verbesserte Ausnutzung der über die beiden Lenkwinkel-Stellorgane aufbaubaren Seitenführungskräfte erlaubt.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art, dem Grundgedanken nach durch die Gesamtkombination der Merkmale des Patentanspruchs 1 und in speziellen Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens durch die Merkmale der Ansprüche 2 und/oder 3 gelöst.

Hierbei entspricht die gemäß Anspruch 2 vorgesehene Art der Ermittlung eines Sollwertes der Seitenkraft an den Vorderrädern einer Schwimmwinkel-Regelung an der Vorderachse in der Art wie für die Sollwertsbestimmung der Seitenkraft an der Hinterachse generell vorgesehen, während die Art der Bestimmung eines Sollwertes der Seitenführungskraft an der Vorderachse einer Giergeschwindigkeitsregelung über den der Vorderachse zugeordneten Lenkwinkel-Regelkreis entspricht. Die gemäß Anspruch 4 vorgesehene, näherungsweise Bestimmung von Sollwerten des Schräglaufwinkels der Vorderräder und der Hinterräder des Fahrzeuges ist in der weitaus überwiegenden Zahl der statistisch bedeutsamen Fahrsituationen hinreichend, um eine situations-adäquate Lenk-

winkel-Bestimmung für die Vorder- und die Hinterräder des Fahrzeuges durchführen zu können.

Bei einer zur Implementierung der durch die Merkmale des Anspruchs 3 definierten Art der Regelung geeigneten Regelungseinrichtung gemäß Anspruch 5 ist ein Querschleunigungssensor besonders zweckmäßig, der unmittelbar die im Schwerpunkt des Fahrzeuges wirksame Querschleunigung erfaßt.

Hierzu können, unter Berücksichtigung der Fahrzeug-Geometrie auch, wie gemäß Anspruch 6 vorgesehen, zwei Querschleunigungs-Sensoren vorgesehen werden, deren in Fahrzeuginnenrichtung gemessener Abstand voneinander möglichst groß sein sollte.

Sowohl durch eine Umschaltbarkeit der Regelungseinrichtung auf definiert verschiedene Regelungsmoden, wie gemäß Anspruch 7 vorgesehen, als auch durch eine gezielte Auswahl zwischen verschiedenen gemäß Anspruch 8 vorgesehenen Referenzmodell-Varianten des Fahrzeuges, die durch einen Rechner implementiert sind, ist das Fahrzeug auf entsprechend verschiedene Arten seines Antwort-Verhaltens auf eine als Äußerung eines bestimmten Fahrerwunsches wirkende Betätigung eines Lenkorganes einstellbar d.h. gleichsam der Fahrzeugtyp (Sportwagen oder schwere Limousine) wählbar, der dem Wunsch-Fahrverhalten des Fahrzeuges entspricht. Es versteht sich, daß die insoweit erläuterten Regelungsmoden auch dann nutzbar sind, wenn die Hinterachslenkung dadurch realisiert ist, daß die Hinterradbremsten einzeln zur Entfaltung definierter Abbremskräfte ansteuerbar sind, wodurch sich auch ohne ein Lenkwinkel-Stellorgan der Hinterachse das Gierverhalten des Fahrzeuges über die Hinterräder gezielt beeinflussen läßt.

Durch die gemäß Anspruch 9 für den Fall, daß sich das Fahrzeug im querdynamischen Grenzbereich bewegt, d. h. durch eine Vergrößerung von Schräglaufwinkeln die Seitenkräfte nicht mehr erhöht werden können, vorgesehene selbsttätige Umschaltung der Regelungseinrichtung auf einen Regelmodus mit der Giergeschwin-

digkeit als Regelgröße, wird erreicht, daß das Fahrzeug auch in dem genannten Grenzbereich und/oder bei einem Ausfall der Hinterachslenkung vergleichsweise gut beherrschbar bleibt und insoweit ein hohes Maß an Sicherheit erzielt.

Mittels den Regelgrößen zugeordneter Störbeobachter, vorzugsweise solcher, deren Entwurfsmodell demjenigen des Reglers für die beobachtete Regelgröße entspricht, wird eine signifikante Verbesserung der Regelqualität erzielt, da, im Unterschied zu einem Regler mit I-Anteil nicht der Regelfehler integriert wird, sondern der Fehler zwischen Messung und Schätzung und zu einer Störgrößenaufschaltung genutzt werden kann.

Weitere Einzelheiten des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie einer zu seiner Durchführung geeigneten Einrichtung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und Gestaltungsvarianten einer zu seiner Implementierung geeigneten Regelungseinrichtung anhand der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisch vereinfachtes Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Querdynamik-Regelung an einem Straßenfahrzeug mit Vorderachs- und Hinterachslenkung und

Fig. 2 ein Seitenkraft-/Schräglaufwinkel-Diagramm zur qualitativen Erläuterung der Funktion der Regelungseinrichtung gemäß Fig. 1

Zweck der in der Figur 1 insgesamt mit 10 bezeichneten Querdynamik-Regelungseinrichtung für ein insgesamt mit 11 bezeichnetes vier-rädriges Straßenfahrzeug, bei dem sowohl die Vorderräder 12 und 13 als auch die Hinterräder 14 und 16 lenkbar sind, wobei zur Einstellung von Lenkwinkeln δ_v der Vorderräder 12 und 13 sowie zur Einstellung von Lenkwinkeln δ_h der Hinterräder 14 und 16 je ein elektrisch ansteuerbares Lenkwinkelstellglied 17 beziehungsweise 18 vorgesehen sind, ist es, ein Lenkverhalten

zu erzielen, das eine vom Fahrer gut kontrollierbare Führung des Fahrzeuges ermöglicht.

Für das Fahrzeug 11 sei, zum Zweck der Erläuterung, vorausgesetzt, daß das Vorderachs-Lenkstellglied 17 eine "gemeinsame" Einstellung der Lenkwinkel δ_{v1} und δ_{v2} beider Vorderräder in der Art einer Trapezlenkung vermittelt und daß dasselbe auch für das Hinterachs-Lenkstellglied 18 gilt, so daß im Sinne eines vereinfachenden "Einspur"-Modells des Fahrzeuges die Vorderradlenkwinkel δ_{v1} und δ_{v2} durch einen einzigen Vorderachslenkwinkel δ_v beschreibbar sind und die Hinterradlenkwinkel δ_{h1} und δ_{h2} durch einen gemeinsamen "mittleren" Hinterachslenkwinkel δ_h .

Die Lenkwinkel-Stellglieder 17 und 18 können als elektrohydraulische oder als elektromechanische Aktuatoren realisiert sein, die durch elektrische Signale, die Sollwerte δ_{vsoll} und δ_{hsoll} des Vorderachslenkwinkels δ_v und des Hinterachs-Lenk winkels δ_h , gesehen im Einspurmodell des Fahrzeuges 11, repräsentieren, zur Einstellung der diesbezüglichen Sollwerte ansteuerbar sind.

Diese Sollwert-Signale für den Vorderachs-Lenk Winkel δ_v und den Hinterachs-Lenk Winkel δ_h werden von Reglern 19, 21 und 22 erzeugt, die in voneinander entkoppelten Regelkreisen arbeiten und aus Soll-/Ist-Wertvergleichen für das querdynamische Verhalten des Fahrzeuges 11 charakteristischer Größen, nämlich der Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ im Schwerpunkt 23 des Fahrzeuges 11, des Schwimmwinkels β_v im Bereich der Vorderachse 24 des Fahrzeuges sowie des Schwimmwinkels β_h im Bereich der Hinterachse 26 des Fahrzeuges 11 die sollwert-charakteristischen Ansteuersignale für die Lenkwinkel-Stellglieder 17 und 18 erzeugen.

Zur Umsetzung des Fahrerwunsches nach einem von ihm erwarteten querdynamischen Verhalten des Fahrzeuges 11, den der Fahrer durch Betätigung eines Lenkorgans 27, z.B., wie dargestellt, eines "konventionellen" Lenkrades oder eines Joysticks einsteu-

ern kann, ist ein durch einen elektronischen Rechner implementiertes Referenzmodell 28 vorgesehen, dem an einem ersten Eingang 29, dem "Fahrerwunsch-Eingang", ein für einen Lenkwinkel δ_r charakteristisches elektrisches Ausgangssignal eines Lenkwinkelorgan-Stellungsgebers 31 zugeleitet ist, das einem vom Fahrer erwünschten Lenkungsverhalten des Fahrzeuges 11 entspricht; an einem zweiten Eingang 32, einem "Geschwindigkeits-Eingang", ist dem Referenzmodell 28 ein elektrisches Zustandssignal zugeleitet, das ein Maß für die Fahrzeug-Längsgeschwindigkeit v_x des realen Fahrzeuges ist.

Das Referenzmodell 28 gibt an einem ersten Ausgang 33 ein elektrisches Ausgangssignal ab, das ein Maß für einen Sollwert $\dot{\Psi}_{soll}$ der Gierwinkelgeschwindigkeit des realen Fahrzeuges um seine durch den Schwerpunkt 23 gehende Hochachse ist.

An einen zweiten Ausgang 34 gibt das Referenzmodell 28 ein elektrisches Ausgangssignal ab, das - bei einer Kurvenfahrt - ein Maß für den Schwimmwinkel-Sollwert β_{vsoll} des Schwimmwinkels des Fahrzeuges im Bereich seiner Vorderachse 24 ist, und an einem dritten Ausgang 36 ein elektrisches Ausgangssignal, das ein Maß für den Sollwert β_{hsoll} des Schwimmwinkels des realen Fahrzeuges 11 an der Hinterachse 26 des Fahrzeuges ist.

Die Generierung dieser Sollwerte, deren Einregelung des Reaktionsverhalten des Fahrzeuges auf eine Betätigung des Lenkrades 27 - Einstellung des Lenkwinkels δ_F - bestimmt, ist zweckmäßigerweise so getroffen, daß sich ein für den Fahrer "verständliches" - gut beherrschbares - querdynamisches Verhalten des Fahrzeuges 11 ergibt. Das Referenzmodell 28 kann so ausgelegt sein, daß sich ein "neutrales" Kurvenfahrt-Verhalten ergibt, dem gleiche Schräglaufwinkel α_v und α_h an der Vorderachse 24 und der Hinterachse 26 entsprechen; es ist jedoch auch möglich, daß das Referenzmodell 28 so ausgelegt ist, daß sich ein leicht übersteuerndes Kurvenfahrtverhalten des Fahrzeuges ergibt, das dem eines Sportfahrzeuges angenähert ist, oder auch

ein untersteuerndes Verhalten erzielt wird, wie es für vorderachs-getriebene Fahrzeuge charakteristisch sein kann.

Für den Vergleich mit den $\dot{\Psi}_{\text{soll}}$, β_{vsoll} und β_{hsoll} -Wertsignalen geeignete Istwert-Signale werden von einem wiederum durch einen elektronischen Rechner implementierten Fahrzeugmodell 37 generiert, das aus einer Verarbeitung gemessener, betriebscharakteristischer Meßgrößen sowie fahrzeugspezifischer Daten an einem ersten Ausgang 38 ein elektrisches Ausgangssignal abgibt, das ein Maß für den Istwert $\dot{\Psi}_{\text{ist}}$ der Gierwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeuges 11 um seine Hochachse ist, des weiteren an einem zweiten Ausgang 39 ein elektrisches Ausgangssignal abgibt, das ein Maß für den Istwert β_{vis} des Schwimmwinkels der Vorderachse 24 ist, und an einem dritten Ausgang 41 ein elektrisches Ausgangssignal abgibt, das ein Maß für den Istwert β_{his} des Schwimmwinkels β_h an der Hinterachse 26 des realen Fahrzeuges 11 ist.

Zur Generierung der genannten Istwert-Ausgangssignale des Fahrzeugmodells 37 geeignete, variable Daten, d.h. solche, die im Fahrbetrieb fortlaufend erfaßt werden müssen, und "fahrzeugspezifische Daten", d.h. solche, die durch das Fahrzeug fest vorgegeben sind oder durch eine einmalige Messung erfaßbar sind und sodann mindestens für eine längere Zeitspanne als konstant angesehen werden können, sind bei dem gewählten Erläuterungsbeispiel die folgenden: Die Ausgangssignale den Fahrzeugrädern 12, 13, 14 und 16 einzeln zugeordneter Raddrehzahlsensoren 42₁ bis 42₄, die eine genaue Ermittlung der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v_x ermöglichen, die Ausgangssignale eines dem Vorderachs-Lenkstellglied 17 zugeordneten elektronischen oder elektromechanischen Vorderachs-Lenkwinkel-Stellungsgebers 43 sowie eines dem Hinterachs-Lenkstellglied 18 zugeordneten Lenkwinkelstellungsgebers 44, das Ausgangssignal eines Giergeschwindigkeits($\dot{\Psi}$)-Sensors 46 als Maß für die Giergeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ um die durch den Schwerpunkt 23 des Fahrzeuges gehende Hochachse desselben, das Ausgangssignal eines Querbeschleunigungs(a_y)-Sensors 47 als Maß für die im Schwerpunkt 23 des

Fahrzeuges 11 rechtwinklig zur Fahrzeuglängsrichtung, der x-Richtung, angreifende Querbesehleunigung a_y , sowie gegebenenfalls das Ausgangssignal eines zweckmäßigerweise in der Nähe der Vorderachse 24 angeordneten Querbesehleunigungssensors 48 und/oder das Ausgangssignal eines mehr in der Nähe der Hinterachse 26 angeordneten Querbesehleunigung(a_{yh})-Sensors 49 als Maß für eine in Querrichtung am Fahrzeug im Abstand von seinem Schwerpunkt 23 angreifende Querbesehleunigung.

Als "fahrzeugspezifische" Daten, die in Verbindung mit den vor genannten variablen Angaben zur Ermittlung der Istwerte $\dot{\Psi}_{ist}$, $\beta_{v,ist}$ und $\beta_{h,ist}$ geeignet sind, werden in dem Fahrzeugmodell 37 der Achsabstand L des Fahrzeuges sowie gegebenenfalls die Spurbreiten der Vorder- und der Hinterachse als Festwert(e), sowie als allenfalls geringfügigen Variationen unterworfenen Größen, die erforderlichenfalls durch zeitweise Messung oder Schätzung korrigiert werden können, die Fahrzeugmasse m, der Abstand l_v des Schwerpunktes 23 von der Vorderachse 24 beziehungsweise l_h des Schwerpunktes 23 von der Hinterachse 26, das Gier-Trägheitsmoment J_x des Fahrzeuges 11 um seine Hochachse, sowie Reifenkennlinien abgelegt, die den Zusammenhang der durch Lenkungs betätigung an der Vorderachse und der Hinterachse aufbaubaren Seitenkräfte S_v und S_h in Abhängigkeit von den jeweiligen Schräglaufwinkeln α_v und α_h wiedergeben.

Zur Erläuterung der Verarbeitung dieser Größen durch den Modellrechner 37 wird nachfolgend auf ein vereinfachtes linearisiertes Einspurmodell eines Straßenfahrzeuges Bezug genommen, in dem die Lenkwinkel δ_v und δ_h an der Vorderachse 24 beziehungsweise der Hinterachse 26 durch die folgenden Beziehungen gegeben sind:

$$\delta_v = -\beta + \frac{l_v \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_v \quad (1)$$

und

$$\delta_h = -\beta - \frac{l_h \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_h \quad (2)$$
 gegeben sind, so gilt für die Lenkwinkel δ_v und δ_h die Beziehung

In dem zur Erläuterung gewählten linearisierten, d.h. für kleine Werte der Lenkwinkel δ_v und δ_h um 10° betrachteten Einspurmodell ist der Schwimmwinkel β im Schwerpunkt des Fahrzeuges 11 in guter Näherung durch die Beziehung

$$\beta = \frac{v_y}{v_x} \quad (3)$$
 gegeben, in der mit v_y die sich bei der Kurvenfahrt ergebende Geschwindigkeitskomponente des Fahrzeuges rechtwinklig zur Längsgeschwindigkeits-Komponente v_x der Fahrzeuggeschwindigkeit v , bezeichnet ist, die sich als vektorielle Summe dieser beiden Geschwindigkeitskomponenten ergibt.

Die Quergeschwindigkeitskomponente v_y kann aus einer Integration der im Schwerpunkt des Fahrzeuges angreifenden Querbewegung a_y "gemessen", zumindest annähernd ermittelt werden und/oder aus den Radgeschwindigkeiten, den eingestellten Lenkwinkeln δ_v und δ_h sowie den geometrischen Abmessungen des Fahrzeuges geschätzt werden.

Des weiteren sind die Schwimmwinkel β_v und β_h an der Vorderachse beziehungsweise der Hinterachse mit dem Schwimmwinkel β im Schwerpunkt des Fahrzeuges durch die Beziehungen

$$\beta_v = \beta - \frac{J_z \cdot \dot{\Psi}}{l_v \cdot m \cdot v_x} \quad (4)$$

sowie

$$\beta_h = \beta + \frac{J_z \cdot \dot{\Psi}}{l_h \cdot m \cdot v_x} \quad (5)$$

verknüpft.

Der eine zur Ansteuerung des Vorderachs-Lenkwinkelstellgliedes 17 vorgesehene Regler 19 ist als Giergeschwindigkeitsregler ausgebildet, der nach einem Reglergesetz der Form

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot a_y}{L} + \frac{J_z}{L} \cdot [\ddot{\Psi}_{soll} - k \cdot (\dot{\Psi} - \dot{\Psi}_{soll})] \quad (6)$$

einen Sollwert S_{vsoll} der Seitenkraft ermittelt, die eine Funktion $S(\alpha_v)$ des Schräglaufwinkels α_v an der Vorderachse ist.

Diesem Sollwert S_{vsoll} , der durch die Giergeschwindigkeitsregelung ermittelt wird, und bei verschwindender Regelabweichung $e - (e = \dot{\Psi} - \dot{\Psi}_{soll} = 0)$ durch die Beziehung

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot a_y}{L} + \frac{J_z \cdot \ddot{\Psi}_{soll}}{L} \quad (6')$$

gegeben ist, entspricht die für eine stabile Kurvenfahrt des Fahrzeuges geltende, allgemein durch die Beziehung

$$J_z \cdot \ddot{\Psi} = S_v \cdot l_v - l_h \cdot S_h \quad (7)$$

ausgedrückte Forderung nach Ausgeglichenheit der Momente um die Hochachse des Fahrzeuges 11, wenn in dieser Beziehung (7) die an der Hinterachse 26 des Fahrzeuges 11 auftretende Seitenkraft S_h gemäß der Beziehung

$$m \cdot a_y = S_v + S_h \quad (8)$$

eliminiert wird.

Wegen der qualitativ durch das Diagramm der Figur 2 wiedergegebene Abhängigkeit der gemäß der Beziehung (6'), gleichsam mathematisch, ermittelbaren Seitenkräfte von den durch die Len-

kungsbetätigung mit einzustellenden Schräglaufwinkeln α , ist mit jedem durch die $\dot{\Psi}$ -Regelung gemäß den Beziehungen (6) beziehungsweise (6') ein Sollwert α_{vsoll} des Schräglaufwinkels verknüpft, der gemäß der Beziehung (1) bei der Ermittlung des Sollwertes δ_{vsoll} für die Stellgröße δ_v als Sollwert α_{vsoll} des Schräglaufwinkels α_v einzusetzen ist, gemäß der Beziehung

$$\delta_{vsoll} = -\beta + \frac{l_v \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_{vsoll} \quad (1').$$

Die Abhängigkeit der Seitenkraft S vom Schräglaufwinkel α ist in dem seinerseits als Rechner realisierten $\dot{\Psi}$ -Regler 19, der den Sollwert δ_{vsoll} für den Vorderachs-Lenkwinkel δ_v gemäß der Beziehung (1') ermittelt, entweder in tabellarischer Form abgelegt oder durch einen vom Rechner auswertbaren Regelalgorithmus implementiert. Bei dem zur Erläuterung gewählten Ausführungsbeispiel erfolgt die Ermittlung des Sollwertes α_{vsoll} des Schräglaufwinkels im Sinne einer linearen Näherung gemäß einer Beziehung der Form

$$\alpha_{vsoll} = \frac{S_{vsoll}}{C_v} \quad (9),$$

in der mit C_v eine reifencharakteristische Schräglaufsteifigkeit bezeichnet ist. Werte dieser Schräglaufsteifigkeit können Herstellerangaben entnommen werden oder geschätzt oder durch geeignete Versuche und/oder adaptive Meßmethoden ermittelt werden. Die Näherung gemäß der Beziehung (9) stellt zumindest für kleine Schräglaufwinkel (bis zu 10°) eine hinreichend genaue Näherung dar, wie der $S(\alpha)$ -Verlaufskurve 51 des Diagramms unmittelbar entnehmbar ist.

Der für die Auswertung der Beziehung (6) beziehungsweise (6') durch den $\dot{\Psi}$ -Regler 19 erforderliche $\ddot{\Psi}_{soll}$ -Wert wird vom Referenzmodell 12 - durch zeitliche Differenzierung des $\dot{\Psi}_{soll}$ -Ausgangssignals - generiert und wird dem Regler 19 direkt zuge-

leitet, wie durch einen $\dot{\Psi}_{\text{soll}}$ -Signalpfad 53 schematisch dargestellt.

Die Regelabweichung e wird als Differenz des vom realen Fahrzeugmodell 37 ausgegebenen $\dot{\Psi}_{\text{ist}}$ -Wertsignals und des vom Referenzmodell 26 ausgegebenen $\dot{\Psi}_{\text{soll}}$ -Wertsignals an der $\dot{\Psi}$ -Vergleichsstelle 52 ermittelt und im Regler gemäß der Beziehung (6) mit einer im Prinzip frei wählbaren, Regler-Verstärkung k des $\dot{\Psi}$ -Reglers 19 verarbeitet.

Die von dem $\dot{\Psi}$ -Regler weiter benötigten Eingaben für die Größen $l_v \cdot m \cdot a_y / L$, das Verhältnis J_z / L , den Schwimmwinkel β im Schwerpunkt des Fahrzeuges sowie für die Größe $l_v \cdot \dot{\Psi} / v_x$ werden von dem realen Fahrzeugmodell 37 generiert und dem Regler 19 "direkt" zugeleitet. Die diesbezüglich erforderlichen Signalfade sind, der Einfachheit halber in der Figur 1 lediglich durch einen einzigen Signalflußpfeil 54 repräsentiert.

Der zur Ansteuerung des Hinterachs-Lenkstellgliedes 18 vorgesehene Regler 22 ist als Schwimmwinkel(β_h)-Regler ausgebildet, der nach einem Reglergesetz der Form

$$S_{\text{hsoll}} = \frac{l_v \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot [\dot{\Psi} - \dot{\beta}_{\text{hsoll}} + k_1(\beta_{\text{hist}} - \beta_{\text{hsoll}})] \quad (10)$$

einen Sollwert für die an der Hinterachse 26 des Fahrzeuges 11 durch die Lenkungsbetätigung aufzubauende Seitenkraft $S(\alpha_h)$ ermittelt. Dieser durch die β_h -Regelung ermittelbare Sollwert ist bei verschwindender Regelabweichung ($\beta_{\text{hist}} - \beta_{\text{hsoll}} = 0$) durch die Beziehung

$$S_{\text{hsoll}} = \frac{l_v \cdot m \cdot v_x}{L} [\dot{\Psi} - \dot{\beta}_{\text{hsoll}}] \quad (10')$$

gegeben.

Ausgangspunkt für den Entwurf des Reglers ist die plausible Annahme, daß die zeitliche Änderung $\dot{\beta}_h$ des Schwimmwinkels an der Hinterachse 26 des Fahrzeuges 11 der Differenz des Schwimmwinkel-Istwertes $\beta_{h,ist}$ und des Sollwertes $\beta_{h,soll}$ proportional ist:

Aus der Beziehung (5) für den Schwimmwinkel β_h an der Hinterachse des Fahrzeuges ergibt sich durch zeitliche Differentiation die Beziehung

$$\dot{\beta}_h = \dot{\beta} + \frac{J_z \cdot \ddot{\Psi}}{l_v \cdot m \cdot v_x} \quad (5'),$$

die unter der Voraussetzung, daß die Längs-Geschwindigkeitskomponente v_x des Fahrzeuges als konstant angesehen werden kann, unter Berücksichtigung der Beziehung (3) die folgende Form annimmt:

$$\dot{\beta}_h = -\frac{\dot{v}_y}{v_x} + \frac{J_z \cdot \ddot{\Psi}}{l_v \cdot m \cdot v_x} \quad (5'').$$

Aus der Forderung nach Ausgeglichenheit der Querkräfte am Fahrzeug bei einer Kurvenfahrt, geschrieben in der Form

$$m v_y = S_v + S_h - m \cdot v_x \cdot \dot{\Psi} \quad (11)$$

folgt unmittelbar

$$\dot{v}_y = \frac{S_v + S_h}{m} - v_x \cdot \dot{\Psi} \quad (11')$$

Die Beziehung (11') in die Beziehung (5'') eingesetzt ergibt die Beziehung

$$\dot{\beta}_h = -\frac{S_v + S_h}{m \cdot v_x} + \dot{\Psi} + \frac{J_z \cdot \ddot{\Psi}}{l_v \cdot m \cdot v_x} \quad (12).$$

Wird aus dieser Beziehung (12) mit Hilfe der die Forderung nach Ausgeglichenheit der Momente beim Fahrzeug ausdrückenden Beziehung (7) die Vorderachs-Seitenkraft S_v eliminiert, ergibt sich für die zeitliche Änderung $\dot{\beta}_h$ des Schwimmwinkels an der Hinterachse 26 die Relation

$$\dot{\beta}_h = \dot{\Psi} - \frac{S_h \cdot l_v}{m \cdot v_x \cdot l_v} - \frac{l_h \cdot S_h}{l_v \cdot m \cdot v_x} = \dot{\Psi} - \frac{L \cdot S_h}{m \cdot v_x \cdot l_v} \quad (13),$$

aus der für die Seitenkraft $S_h(\alpha_h)$ an der Hinterachse unmittelbar die folgende Beziehung folgt:

$$S_h(\alpha) = \frac{l_v \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot (\dot{\Psi} - \dot{\beta}_h) \quad (10'),$$

die mit dem für die Schwimmwinkelregelung an der Hinterachse vom Referenzmodell ausgegebenem Sollwert $\dot{\beta}_{hsoll}$ der Beziehung (10') entspricht.

Die von dem $\dot{\beta}_h$ -Regler 22 zur Auswertung der Beziehung (10) beziehungsweise der Beziehung (10') benötigte $\dot{\beta}_{hsoll}$ -Eingabe wird vom Referenzmodell 28 generiert und dem Regler 22, wie durch den $\dot{\beta}_{hsoll}$ -Signalpfad 56 schematisch dargestellt, "direkt" zugeleitet.

Die von dem β_h -Regler 22 mit der im Prinzip frei wählbaren Reglerverstärkung k_1 "multiplizierend" verarbeitete Regelabweichung e_h ($e_h = \beta_{h\text{ist}} - \beta_{hsoll}$) wird an der β_h -Vergleichsstelle 57 ermittelt.

Die von dem β_h -Regler 22 weiter benötigten Eingaben für die Größe $l_v \cdot m \cdot v_x / L$ sowie den Istwert $\dot{\Psi}_{\text{ist}}$ der Gierwinkelgeschwindigkeit werden vom realen Fahrzeugmodell 37 generiert und dem β_h -Regler 22, wie durch die diesbezüglichen Signalpfade 58 und 59 veranschaulicht, "direkt" zugeleitet.

Die Ermittlung des Sollwertes α_{hsoll} des Schräglaufwinkels α_h an der Hinterachse 26 aus dem durch die Schwimmwinkelregelung an der Hinterachse gewonnenen Sollwert S_{hsoll} der Seitenkraft an der Hinterachse 26 erfolgt analog zu der mit Bezug auf den $\dot{\Psi}$ -Regler 19 geschilderten Art.

Die Bestimmung des Sollwertes δ_{hsoll} für den einzustellenden Hinterachslenkwinkel, d.h. die Stell-Signalbildung für diesen Winkel erfolgt gemäß der Beziehung

$$\delta_{hsoll} = -\beta - \frac{l_h \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_{hsoll} \quad (2'),$$

wobei die hierfür noch zusätzlich erforderlichen Eingaben für den Schwimmwinkel β im Schwerpunkt 23 des Fahrzeuges sowie für die Größe $l_h \cdot \dot{\Psi}_{ist} / v_x$ vom realen Fahrzeugmodell 37 generiert und dem Regler 22 über Signalpfade zugeleitet werden, die, der Einfachheit der Darstellung halber lediglich durch einen einzigen Signalpfeil 60 repräsentiert sind.

Aus der geschilderten Art der $\dot{\Psi}$ -Regelung sowie der β_h -Regelung ist ersichtlich, das die beiden Regelkreise "physikalisch" entkoppelt sind, was insbesondere der Robustheit der Regelung zugute kommt.

Bei der Querdynamik-Regelungseinrichtung 10 ist als Alternative zu einer Ansteuerung des Vorderachs-Lenkwinkelstellgliedes 17 mit δ_{vsoll} -Ausgangssignalen des $\dot{\Psi}$ -Reglers 19 auch eine Ansteuerung des Vorderachs-Lenkwinkelstellgliedes 17 mit δ_{vsoll} -Ausgangssignalen des weiteren Reglers 21 vorgesehen, wie durch einen Wahlschalter 61 schematisch dargestellt.

Dieser weitere Regler 21 ist in funktioneller Analogie zu dem für die Ansteuerung des Hinterachs-Lenkwinkelstellgliedes 18 vorgesehenen β_h -Regler 22 als Schwimmwinkel (β_v)-Regler ausgebildet, der nach einem Reglergesetz der Form

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot [\dot{\Psi} - \dot{\beta}_{vsoll} + k_2 \cdot (\beta_v - \beta_{vsoll})] \quad (14)$$

Sollwerte für die an der Vorderachse 24 des Fahrzeuges 11 durch die Lenkungsbetätigung aufzubauende Seitenkraft $S(\alpha_v)$ ermittelt.

Die von dem β_v -Regler 21 benötigte $\dot{\beta}_{vsoll}$ -Eingabe wird von dem Referenzmodell 28 generiert und, wie durch den $\dot{\beta}_{vsoll}$ -Signalpfad 62 schematisch dargestellt, dem β_v -Regler 21 "direkt" zugeleitet. Die von dem β_v -Regler 21 mit der wiederum frei wählbaren Reglerverstärkung k_2 verarbeitete Regelabweichung e_v ($e_v = \beta_{v,ist} - \beta_{vsoll}$) wird an der β_v -Vergleichsstelle 63 ermittelt.

Die von dem β_v -Regler 21 weiter benötigten Eingaben für die Größe $l_h \cdot m \cdot v_x / L$ sowie für den Istwert $\dot{\Psi}_{ist}$ der Gierwinkelgeschwindigkeit werden vom realen Fahrzeugmodell 37 generiert und dem β_v -Regler, wie durch die diesbezüglichen Signalpfade 64 und 59 veranschaulicht, "direkt" zugeleitet.

Die Ermittlung von Sollwerten α_{vsoll} des Schräglaufwinkels α_v an der Vorderachse 24 aus dem durch die Schwimmwinkelregelung an der Vorderachse gewonnenen Sollwert S_{vsoll} der Seitenkraft erfolgt wie anhand der Beschreibung des $\dot{\Psi}$ -Reglers 19 erläutert, desgleichen die Bestimmung des Sollwertes δ_{vsoll} für den einzustellenden Vorderachs-Lenkwinkel δ_v .

Der $\dot{\Psi}$ -Regler 19 und der β_v -Regler 21 sind so ausgelegt, daß das Reaktionsverhalten des Fahrzeuges 11 in demjenigen Betriebsmodus der Querdynamik-Regelungseinrichtung 10, in dem die Einstellung des Vorderachs-Lenk winkels δ_v mittels des $\dot{\Psi}$ -Reglers 19 erfolgt, signifikant verschieden von demjenigen Reaktionsverhalten des Fahrzeuges ist, wenn die Regelungseinrichtung 10 in demjenigen Betriebsmodus arbeitet, in dem die Einstellung des Vorderachs-Lenk winkels δ_v mittels des β_v -Reglers 21 erfolgt. Das Fahrzeug 11 ist somit durch Umschalten des Wahl-

schalters 61 im Ergebnis auf zwei erwünschte Reaktionsweisen einstellbar, z.B. auf "sportliches", d.h. mäßig übersteuerndes, und auf neutrales Kurvenfahrtverhalten einstellbar.

Weitere Reaktionsweisen - "Fahrzeugtypen" - sind dadurch realisierbar, daß das Referenzmodell 28 auf definiert verschiedene Arten der Generierung seiner Sollwert-Ausgangssignale wählbar einstellbar ist.

Zur Verbesserung der Qualität der Regelung sind den Regelgrößen einzeln zugeordnete Störbeobachter vorgesehen, deren Zweck es ist, Störgrößen wie Seitenwind, Fahrbahnneigung und/oder unterschiedliche Kraftschlußbeiwerte an den beiden Fahrzeugseiten (μ -Split-Verhältnisse) zu erfassen und bei der Regelung im Sinne einer Störgrößenaufschaltung zu berücksichtigen. Des weiteren sollen durch die Störbeobachter auch Modellfehler kompensiert werden, die daraus resultieren, daß das Fahrzeugmodell die Realität nur näherungsweise berücksichtigen kann. Entsprechend der geschilderten Entkopplung der den Vorderrädern 12 und 13, einerseits, und den Hinterrädern 14 und 16, andererseits, zugeordneten Regelkreise ist, der Einfachheit der Darstellung halber, nur ein Störbeobachter 66 für den Vorderachs-Regelkreis und ein Störbeobachter 67 für den β_R -Regelkreis dargestellt. Die Störbeobachter 66 und 67 sind, allgemein, als durch elektronische Rechner implementierte Modelle der Regelstrecke konzipiert, die dieselben Eingaben, nämlich die Sollwert-Ausgangssignale der zugeordneten Regler 19 bzw. 22 empfangen wie die zugeordneten Regelstrecken und hieraus den Regelgrößen ψ bzw. β_R entsprechende Ausgaben erzeugen, und aus dem Vergleich ihrer diesbezüglichen Ausgaben mit den entsprechenden Ausgaben des Fahrzeugmodells 37 des realen Fahrzeuges Schätzwerte $\hat{\Delta}_{v,a}$ für die jeweilige Störung generieren, durch deren Rückführung auf den Regler 19 beziehungsweise 22 die Regelabweichung zum Verschwinden gebracht werden kann.

Eine geeignete Konzeption eines solchen Störbeobachters, die auf die weiteren Regelkreise übertragbar ist, sei am Beispiel des β_h -Regelkreises näher erläutert:

Zum Entwurf des Beobachters 67 wird von der Beziehung

$$\dot{\beta}_h = \psi - \frac{L \cdot c_h \cdot \alpha_h}{m \cdot v_x \cdot l_v} + \Delta_h \quad (13')$$

für die zeitliche Änderung der Regelgröße β_h ausgegangen, die sich ergibt, wenn in der Beziehung (13), die auch dem Entwurfsmodell des Reglers 22 entspricht, die Seitenkraft S_h gemäß der Beziehung (9) durch die Beziehung

$$S_h = c_s \cdot \alpha_h \quad (9')$$

ersetzt wird und mit Δ_h eine Abweichung von der Modell-Beziehung (13) bezeichnet wird, die u.a. durch die Linearisierung der Seitenkraft S_h bedingt ist.

Für diese Störung Δ_h wird hinsichtlich des Beobachtermodells angenommen, daß sie zeitlich quasi konstant ist, d.h., daß gilt:

$$\dot{\Delta}_h = 0 \quad (13'')$$

Von diesem Modell ausgehend wird der Störbeobachter 67 gemäß den Beziehungen

$$\dot{\hat{\beta}}_h = \hat{\Delta}_h + \psi - \frac{L \cdot c_h \cdot \alpha_h}{m \cdot v_x \cdot l_v} + k \cdot (\beta_{\text{dest}} - \hat{\beta}_h) \quad (14)$$

und

$$\dot{\hat{\Delta}}_h = k' \cdot (\beta_{\text{dest}} - \hat{\beta}_h) \quad (15)$$

entworfen. Hierbei ist in der Beziehung (14) mit k ein Verstärkungsfaktor bezeichnet, mit dem die Differenz $\beta_{\text{Ist}} - \hat{\beta}_h$ in das durch die Beziehung (13') repräsentierte Beobachtermodell zurückgeführt wird, und mit k' der Verstärkungsfaktor, mit der die genannte Differenz auf das durch die Beziehung (13'') repräsentierte Modell der Störung zurückgeführt wird.

Die Verstärkungsfaktoren k und k' können durch Polvorgabe nach dem bekannten Wurzelort-Verfahren bestimmt werden. Der Ist-Wert β_{Ist} steht als Ausgabe des realen Fahrzeuges zur Verfügung.

Numerische Integration der Beziehungen (14) und (15) nach bekannten Verfahren, z. B. dem Euler-Verfahren oder dem Runge-Kutta-Verfahren, ergibt die gesuchte Störung $\hat{\Delta}_h$, die bei der Bildung des Sollwertes des Hinterachsdeckwinkels δ_{hsoll} gemäß der Beziehung

$$\delta_{\text{hsoll}} = -\beta - \frac{l_h \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_{\text{hsoll}} - \hat{\Delta}_h \cdot \frac{m \cdot l_v \cdot v_x}{L \cdot c_h} \quad (16)$$

im Sinne einer Störgrößenaufschaltung berücksichtigt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Gier- und Querdynamik bei einem Straßenfahrzeug mit je einer Lenkeinrichtung für die Vorderachse und für die Hinterachse und mit diesen individuell zugeordneten, elektrisch ansteuerbaren δ_v - und δ_h -Lenkwinkel-Stellgliedern (17 und 18), die über je einen Regler ansteuerbar sind, die aus Soll-Istwert-Vergleichen für das gier- und das querdynamische Verhalten des Fahrzeuges charakteristischer Größen, z. B. der Giergeschwindigkeit $\dot{\Psi}$ und eines Schwimmwinkels β , für die Nachführung der Regelgrößen erforderliche Ansteuersignale für die Lenkwinkel-Stellglieder generieren, wobei die zur Einstellung der Lenkwinkel δ_v und δ_h vorgesehenen Regelkreise voneinander entkoppelt sind, und wobei die für die beiden Regelkreise erforderlichen Sollwertvorgabe-Signale für die Regelparameter mittels eines durch einen elektronischen Rechner implementierten Referenzmodells (28) aus einer Verarbeitung mindestens eines den Fahrerwunsch repräsentierenden Ausgangssignals eines Lenkorgan-Stellungsgebers (31) und eines für den Betriebszustand des Fahrzeuges charakteristischen Sensor-Ausgangssignals, z. B. eines Geschwindigkeitssensors, generiert werden, gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:

(a) in dem der Vorderachse zugeordneten Regelkreis wird in einem Regelungsprozeß ein Sollwert S_{vsoll} für die an der Vorderachse aufzubauende Seitenkraft S_v ermittelt;

(b) für diesen Sollwert S_{vsoll} wird aus einer $S_v(\alpha_v)$ -Kennlinie, die die Abhängigkeit der an der Vorderachse aufbaubaren Seitenkraft S_v vom Schräglaufwinkel α_v an der Vorderachse repräsentiert, der mit dem Sollwert S_{vsoll} verknüpfte Wert des Schräglaufwinkels als Sollwert α_{vsoll} ermittelt, und es wird gemäß der Beziehung

$$\delta_{vsoll} = -\beta + \frac{l_v \cdot \dot{\psi}}{v} + \alpha_{vsoll}$$

der Betrag δ_{vsoll} des Vorderachs-Lenkswinkels bestimmt, der mittels des Vorderachs-Lenkswinkel-Stellorgans eingestellt wird;

(c) in dem der Hinterachse zugeordneten Regelkreis wird in einem Regelungsprozeß gemäß einem Regler-Gesetz der Form

$$S_{hsoll} = \frac{l_v \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot [\dot{\psi} - \dot{\beta}_{hsoll} + k_1 \cdot (\beta_h - \beta_{hsoll})]$$

ein Sollwert S_{hsoll} für die an der Hinterachse aufzubauende Seitenkraft S_h ermittelt;

(d) für diesen Sollwert S_{hsoll} der Hinterachs-Seitenkraft wird aus einer $S_h(\alpha_h)$ -Kennlinie, der mit dem Sollwert S_{hsoll} verknüpfte Wert des Schräglaufwinkels als Sollwert α_{hsoll} ermittelt, und es wird gemäß der Beziehung

$$\delta_{hsoll} = -\beta - \frac{l_h \cdot \dot{\Psi}}{v_x} + \alpha_{hsoll}$$

der Betrag δ_{hsoll} des Hinterachs-Lenkswinkels bestimmt, der mittels des Hinterachs-Lenkswinkel-Stellorgans eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert S_{vsoll} der an der Vorderachse aufzubauenden Seitenkraft in einem Regelungsprozeß gemäß einem Regler-Gesetz der Form

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot v_x}{I_z} \cdot [\dot{\Psi} - \dot{\beta}_{vsoll} + k_2 \cdot (\beta_v - \beta_{vsoll})]$$

ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert S_{vsoll} der an der Vorderachse aufzubauenden Seitenkraft in einem Regelungsprozeß gemäß einem Regler-Gesetz der Form

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot a_y}{L} + \frac{J_z}{L} \cdot [\ddot{\Psi}_{soll} - k_3 \cdot (\dot{\Psi} - \dot{\Psi}_{soll})]$$

ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert α_{vsoll} des Schräglaufwinkels α_v an der Vorderachse und/oder der Sollwert α_{hsoll} des Schräglaufwinkels α_h an der Hinterachse aus einer linearen Beziehung der Form

$$\delta_{vsoll,hsoll} = \frac{S_{vsoll,hsoll}}{C_{v,h}}$$

gewonnen wird, in der mit $C_{v,h}$ jeweils geschätzte oder durch Messung ermittelte Werte von Schräglaufsteifigkeiten der Vorderradreifen (Index "v") bzw. der Hinterradreifen (Index "h") bezeichnet sind.

5. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 an einem Straßenfahrzeug (11) mit je einer Lenkeinrichtung für die Vorderachse (24) und für die Hinterachse (26) und mit diesen individuell zugeordneten, elektrisch ansteuerbaren Lenkwinkel-Stellgliedern (17 und 18) für zwei voneinander entkoppelte Regelkreise, mittels derer der Vorderachs-Lenkwinkel δ_v und der Hinterachs-Lenkwinkel δ_h einstellbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils mindestens ein Querschleunigungs-Sensor (47) vorgesehen ist, mittels dessen eine am Fahrzeug (11) auftretende Querschleunigung a_y an einer definierten Stelle des Fahrzeuges, vorzugsweise in dessen Schwerpunkt, erfassbar ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Querschleunigungs-Sensoren (48 und 49) vorgesehen sind, die, in Richtung der Fahrzeuglängsachse gesehen, in einem Abstand voneinander angeordnet sind, wobei vorzugsweise der eine Querschleunigungs-Sensor (48) im Bereich der Vorderachse (24) und der andere Querschleunigungs-Sensor (49) im Bereich der Hinterachse (26) des Fahrzeuges (11) angeordnet ist.

7. Einrichtung, insbesondere nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, gekennzeichnet durch ihre Umschaltbarkeit zwischen dem Regelmodus, in dem der Sollwert S_{vsoll} der Seitenkraft an der Vorderachse gemäß dem Regler-Gesetz

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot v_x}{L} \cdot [\dot{\Psi} - \dot{\beta}_{vsoll} + k_2 \cdot (\beta_v - \beta_{vsoll})]$$

ermittelt wird, und dem Regelmodus, in dem der Sollwert der Seitenkraft an der Vorderachse gemäß dem Regler-Gesetz

$$S_{vsoll} = \frac{l_h \cdot m \cdot a_y}{L} + \frac{J_z}{L} \cdot [\ddot{\Psi}_{soll} - k_3 \cdot (\dot{\Psi} - \dot{\Psi}_{soll})]$$

ermittelt wird.

8. Einrichtung, insbesondere nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Generierung der Sollwert-Vorgaben für die einzustellenden Vorderachs- und Hinterachs-Lenkwinkel δ_v und δ_h vorgesehenes Referenzmodell (28) auf definiert verschiedene Algorithmen der Generierung dieser Sollwerte einstellbar ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine selbsttätige Umschaltung aus dem Regelmodus, in dem der Sollwert S_{vsoll} der Seitenkraft an der Vorderachse in Abhängigkeit von der Regelabweichung $(\beta_v - \beta_{vsoll})$ des Schwimmwinkels im Bereich der Vorderachse bestimmt wird, in den Regelmodus, in dem der Sollwert S_{vsoll} der Seitenkraft an der Vorderachse in Abhängigkeit

von der Regelabweichung ($\dot{\Psi} - \dot{\Psi}_{\text{so11}}$) der Giergeschwindigkeit bestimmt wird, erfolgt, wenn im Grenzbereich die Seitenkraft-Übertragungsfähigkeit der Reifen ausgeschöpft oder nahezu ausgeschöpft ist und/oder das Hinterachsenlenkwinkelstellglied (18) ausgefallen ist.

10. Einrichtung, insbesondere nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß für mindestens einen der zur Einstellung der Vorderachs- und der Hinterachsenlenkwinkel δ_v und δ_h vorgesehenen Regelkreise ein Störbeobachter (66 und/oder 67) vorgesehen ist.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler und der Störbeobachter, die derselben Regelgröße zugeordnet sind, nach demselben Entwurfsmodell konzipiert sind.

1/2

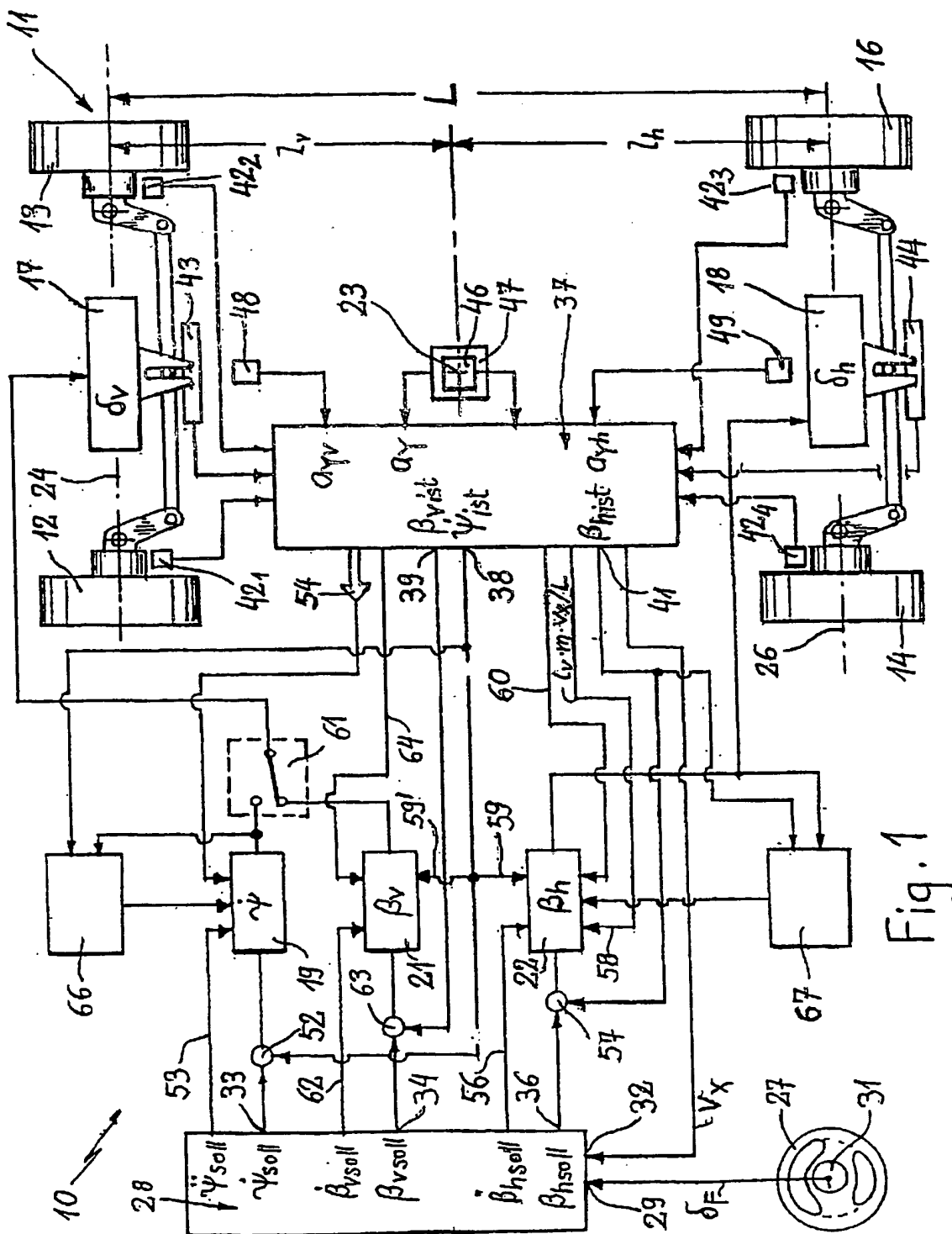


Fig. 1

2/2

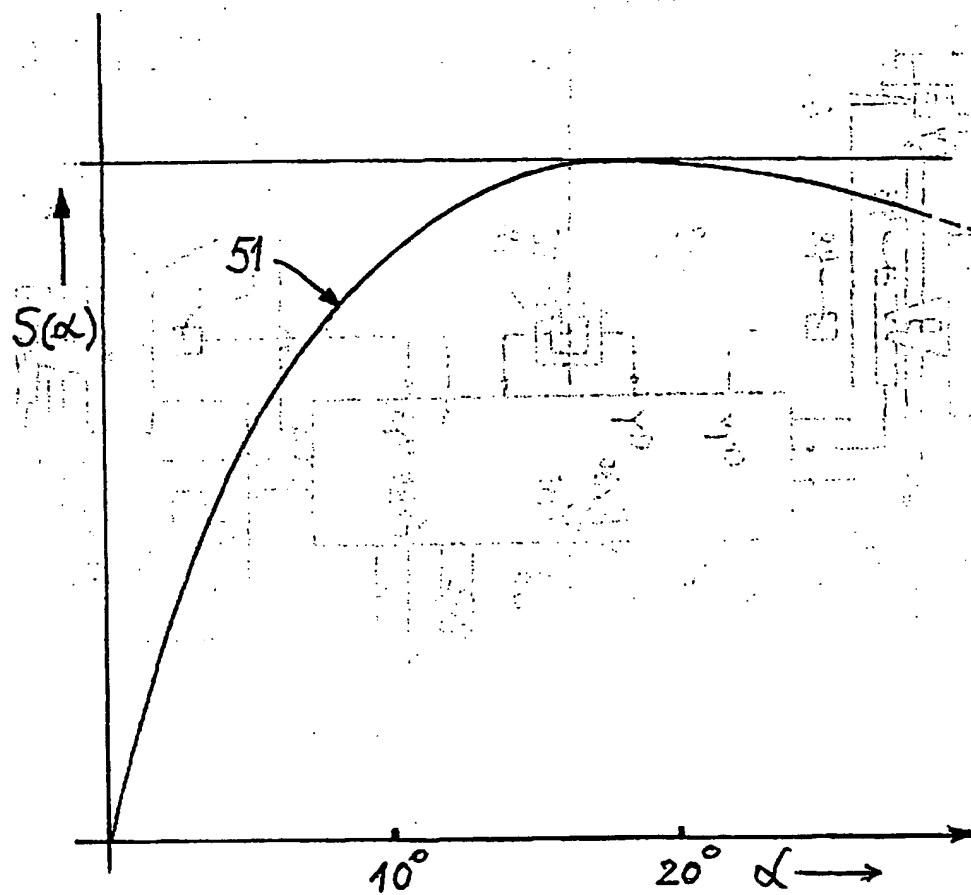


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/09411

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 B62D7/15 B62D6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B62D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 35 32 247 A (NISSAN MOTOR) 20 March 1986 (1986-03-20) abstract; figures 1,3,9,10,15-17 page 13, line 17 -page 18, line 20 page 23, line 4 -page 29, line 17 page 30, line 25 -page 31, line 35	1,4,5,8
A	US 4 767 588 A (ITO KEN) 30 August 1988 (1988-08-30) abstract; claims 1-3,5-9,11,12,14-16; figures 1-5,9,10 column 1, line 43 -column 2, line 9 column 2, line 39 -column 2, line 63 column 3, line 34 -column 6, line 43 column 7, line 7 -column 8, line 60 column 9, line 44 -column 10, line 56 -/--	1,5,6

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 November 2001

Date of mailing of the international search report

15/11/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Balázs, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/09411

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 43 30 055 A (MAZDA MOTOR) 10 March 1994 (1994-03-10) abstract; figures 1-5, 7-9, 11, 12, 39 page 1, line 46 - page 2, line 65 page 4, line 68 - page 7, line 1	7-11
A	DE 35 32 222 A (NISSAN MOTOR) 20 March 1986 (1986-03-20) abstract; claims 1-5, 7-11, 15; figures 1, 2, 4, 5, 7, 8 page 13, line 29 - page 22, line 17 page 23, line 23 - page 25, line 29	1, 4, 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/09411

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3532247	A	20-03-1986	JP 1655732 C	13-04-1992
			JP 3019823 B	18-03-1991
			JP 61175177 A	06-08-1986
			JP 1655733 C	13-04-1992
			JP 3019824 B	18-03-1991
			JP 61175179 A	06-08-1986
			JP 1640756 C	18-02-1992
			JP 3004428 B	23-01-1991
			JP 61067665 A	07-04-1986
			DE 3532247 A1	20-03-1986
			US 4679809 A	14-07-1987
US 4767588	A	30-08-1988	JP 1659929 C	21-04-1992
			JP 3021385 B	22-03-1991
			JP 61238570 A	23-10-1986
			JP 1659930 C	21-04-1992
			JP 3021386 B	22-03-1991
			JP 61238571 A	23-10-1986
			JP 1659931 C	21-04-1992
			JP 3021387 B	22-03-1991
			JP 61238572 A	23-10-1986
			DE 3661472 D1	26-01-1989
			EP 0198450 A1	22-10-1986
DE 4330055	A	10-03-1994	JP 3044136 B2	22-05-2000
			JP 6206561 A	26-07-1994
			JP 3184325 B2	09-07-2001
			JP 6107193 A	19-04-1994
			JP 3184326 B2	09-07-2001
			JP 6206563 A	26-07-1994
			JP 3065806 B2	17-07-2000
			JP 6206564 A	26-07-1994
			JP 3065807 B2	17-07-2000
			JP 6206565 A	26-07-1994
			JP 3065808 B2	17-07-2000
			JP 6206566 A	26-07-1994
			JP 3065809 B2	17-07-2000
			JP 6206567 A	26-07-1994
			DE 4330055 A1	10-03-1994
DE 3532222	A	20-03-1986	JP 1849674 C	07-06-1994
			JP 5057146 B	23-08-1993
			JP 61067666 A	07-04-1986
			DE 3532222 A1	20-03-1986
			US 4690431 A	01-09-1987

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/09411

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B62D7/15 B62D6/00

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B62D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 35 32 247 A (NISSAN MOTOR) 20. März 1986 (1986-03-20) Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3, 9, 10, 15-17 Seite 13; Zeile 17 - Seite 18, Zeile 20 Seite 23, Zeile 4 - Seite 29, Zeile 17 Seite 30, Zeile 25 - Seite 31, Zeile 35	1, 4, 5, 8
A	US 4 767 588 A (ITO KEN) 30. August 1988 (1988-08-30) Zusammenfassung; Ansprüche 1-3, 5-9, 11, 12, 14-16; Abbildungen 1-5, 9, 10 Spalte 1, Zeile 43 - Spalte 2, Zeile 9 Spalte 2, Zeile 39 - Spalte 2, Zeile 63 Spalte 3, Zeile 34 - Spalte 6, Zeile 43 Spalte 7, Zeile 7 - Spalte 8, Zeile 60 Spalte 9, Zeile 44 - Spalte 10, Zeile 56 -/-	1, 5, 6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

C Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. November 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

15/11/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3018

Bevollmächtigter Beauftragter

Balázs, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/09411

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch-Nr.
A	DE 43 30 055 A (MAZDA MOTOR) 10. März 1994 (1994-03-10) Zusammenfassung; Abbildungen 1-5, 7-9, 11, 12, 39 Seite 1, Zeile 46 -Seite 2, Zeile 65 Seite 4, Zeile 68 -Seite 7, Zeile 1	7-11
A	DE 35 32 222 A (NISSAN MOTOR) 20. März 1986 (1986-03-20) Zusammenfassung; Ansprüche 1-5, 7-11, 15; Abbildungen 1, 2, 4, 5, 7, 8 Seite 13, Zeile 29 -Seite 22, Zeile 17 Seite 23, Zeile 23 -Seite 25, Zeile 29	1, 4, 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter 1988 Aktenzeichen

PCT/EP 01/09411

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3532247	A	20-03-1986	JP 1655732 C 13-04-1992
		JP 3019823 B 18-03-1991	
		JP 61175177 A 06-08-1986	
		JP 1655733 C 13-04-1992	
		JP 3019824 B 18-03-1991	
		JP 61175179 A 06-08-1986	
		JP 1640756 C 18-02-1992	
		JP 3004428 B 23-01-1991	
		JP 61067665 A 07-04-1986	
		DE 3532247 A1 20-03-1986	
		US 4679809 A 14-07-1987	
US 4767588	A	30-08-1988	JP 1659929 C 21-04-1992
		JP 3021385 B 22-03-1991	
		JP 61238570 A 23-10-1986	
		JP 1659930 C 21-04-1992	
		JP 3021386 B 22-03-1991	
		JP 61238571 A 23-10-1986	
		JP 1659931 C 21-04-1992	
		JP 3021387 B 22-03-1991	
		JP 61238572 A 23-10-1986	
		DE 3661472 D1 26-01-1989	
		EP 0198450 A1 22-10-1986	
DE 4330055	A	10-03-1994	JP 3044136 B2 22-05-2000
		JP 6206561 A 26-07-1994	
		JP 3184325 B2 09-07-2001	
		JP 6107193 A 19-04-1994	
		JP 3184326 B2 09-07-2001	
		JP 6206563 A 26-07-1994	
		JP 3065806 B2 17-07-2000	
		JP 6206564 A 26-07-1994	
		JP 3065807 B2 17-07-2000	
		JP 6206565 A 26-07-1994	
		JP 3065808 B2 17-07-2000	
		JP 6206566 A 26-07-1994	
		JP 3065809 B2 17-07-2000	
		JP 6206567 A 26-07-1994	
		DE 4330055 A1 10-03-1994	
DE 3532222	A	20-03-1986	JP 1849674 C 07-06-1994
		JP 5057146 B 23-08-1993	
		JP 61067666 A 07-04-1986	
		DE 3532222 A1 20-03-1986	
		US 4690431 A 01-09-1987	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.